

ОПТИЧЕСКОЕ УСИЛЕНИЕ В InGaN/GaN ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ, ВЫРАЩЕННЫХ НА КРЕМНИЕВЫХ ПОДЛОЖКАХ

А. В. Данильчик, Н. В. Ржеуцкий, В. Н. Павловский, Е. В. Луценко,
Г. П. Яблонский

Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Минск
E-mail: a.danilchik@ifanbel.bas-net.by

Полупроводниковые соединения на основе нитрида галлия широко применяются в современной оптоэлектронике и остаются одними из самых широко исследуемых материалов. Созданы эффективные светодиоды и полупроводниковые лазеры, работающие от ближнего ультрафиолета до зеленой области видимого диапазона спектра. Основными подложками для роста нитридных гетероструктур остаются сапфир и карбид кремния. Структуры на кремниевой подложке, которая может стать более дешевой альтернативой, остаются до сих пор гораздо менее используемыми и изученными.

В работе исследовалась электролюминесцентная тестовая гетероструктура (ЭЛТ) InGaN/GaN с множественными квантовыми ямами (МКЯ), выращенная методом металлоорганической газовой эпитаксии на подложке кремния (111). Гетероструктура имела следующий дизайн: GaN:Mg (150 нм) / AlGaN (10 нм) / GaN (20 нм) / 5 × {InGaN / GaN:Si} / GaN:Si⁺ (500 нм) / GaN:Si (200 нм) / GaN (150 нм) / Al_{0.2}Ga_{0.8}N (360 нм) / Al_{0.3}Ga_{0.7}N (150 нм) / Al_{0.5}Ga_{0.5}N (150 нм) / AlN (300 нм) / Si. Активная область данной структуры состояла из пяти ям InGaN (1.3 нм) и барьеров GaN:Si (18.5 нм).

Резонаторы для исследования лазерных свойств изготавливались методом скалывания кремниевой подложки вдоль кристаллографических плоскостей. Лазерная генерация наблюдалась вблизи $\lambda = 433$ нм при оптическом возбуждении сфокусированным в полосу излучением N₂ лазера ($\lambda_{\text{возб}} = 337.1$ нм). Регистрация излучения с торца образца осуществлялась при помощи оптоволоконна и монохроматора с ПЗС линейкой. Спектры усиления были получены методом варьирования длины возбуждающей полосы [1–3].

На рис. 1 представлены спектры генерации лазера с резонатором длиной ~1000 мкм, полученные при комнатной температуре. На вставке рис. 1 показана зависимость импульсной выходной оптической мощности излучения ЭЛТ структуры от плотности мощности возбуждающего излучения. Получено значение пороговой плотности мощности 77 кВт/см².

На рис. 2 представлены спектры усиления ЭЛТ гетероструктуры, полученные методом варьирования длины возбуждающей полоски для плотностей мощности возбуждения 94, 146 и 234 кВт/см². Длина полоски составляла 56 мкм и 112 мкм и подбиралась таким образом, чтобы исключить эффект насыщения излучения. С ростом плотности мощности возбуждения происходит увеличение коэффициента усиления, а также смещение максимума спектра в коротковолновую область, что соответствует положению линии генерации.

Расчет распределения электромагнитного поля внутри данной гетероструктуры проводился в приближении плоских электромагнитных волн. Расчеты показали, что мода первого порядка имеет фактор оптического ограничения 0.009. Проведенное моделирование распределения интенсивности электромагнитного излучения в дальнем поле показало совпадение расчетной и измеренной картин для моды первого порядка.

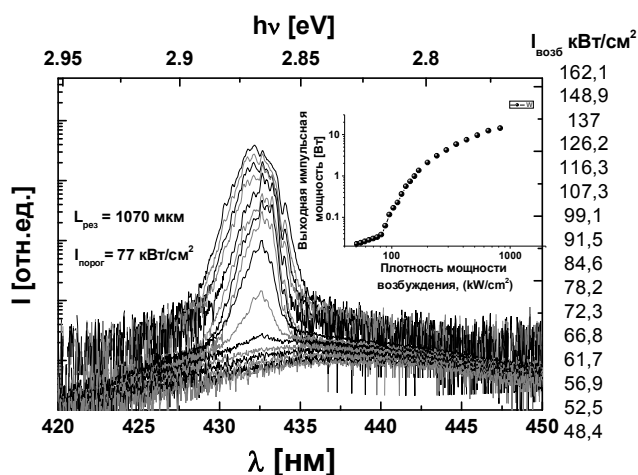


Рис. 1. Спектры генерации ЭЛТ гетероструктуры в зависимости от плотности мощности возбуждающего излучения. Вставка: зависимость выходной оптической мощности от плотности мощности возбуждения

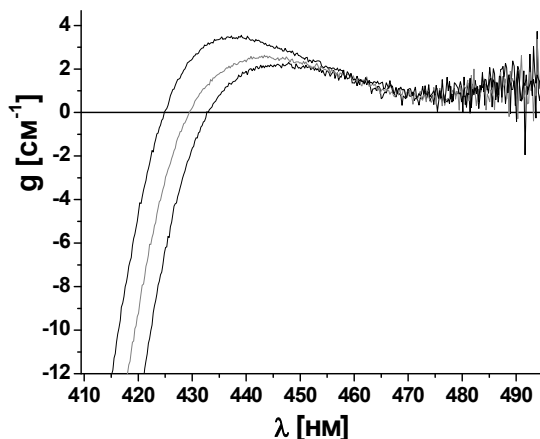


Рис. 2. Спектры усиления InGaN/GaN ЭЛТ при трех уровнях возбуждения

Результаты измерений порогов и оптического усиления в гетероструктурах на кремниевой подложке свидетельствуют о достаточно высоком их качестве, сравнимом с лазерными свойствами гетероструктур на подложках сапфира.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Электроника и фотоника 1.2.06».

1. Shaklee K. L. and Leheny R. H. // Appl. Phys. Lett. 1971, V. 18, P. 476–477.
2. Oster A., Erbert G., and Wenzel H. // Electron. Lett. 1997, V. 33, P. 864–866.
3. Oster A., Bugge F., Erbert G., and Wenzel H. // IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. 1999, V. 5, P. 631–636.